Nanotechnologies

CAP VERS L'INFINIMENT... INQUIÉTANT ?

(première partie)

Des poussières intelligentes qui informent à distance d'une présence ennemie, des vêtements qui se transforment avec le temps qu'il fait, des médicaments mieux diffusés, un dépistage très précoce des cancers... Bienvenue dans un monde nanotechnologique annoncé par certains chercheurs pour 2010 ! Autant dire demain. Alors, il est plus que temps d'envisager, derrière les fantasmes médiatisés et les promesses des gouvernements, les dessous de cette « révolution » : menace directe sur la souveraineté alimentaire partout dans le monde, redoutable outil potentiel de surveillance, une technologie taillée pour la guerre biologique, beaucoup d'inconnues en matière de santé publique et d'environnement... Autant de points qui questionnent : à qui profiteront les nanotechnologies ?

ETC Group © 2004

L'histoire se passe quelque part dans l'infiniment petit, au milliardième de mètre, au millième de micron : au nanomètre. À l'échelle nanométrique, la matière quitte le domaine de la chimie et de la physique conventionnelles pour pénétrer celui de la « mécanique quantique » – conférant des caractéristiques nouvelles aux matériaux traditionnels et présentant des risques nouveaux en matière de santé. Car en intervenant simplement à une échelle réduite (à moins de 100 nm) sans pour autant modifier la substance, on peut considérablement changer les propriétés d'un matériau. Les caractéristiques – telles que conductivité électrique, réactivité, solidité, couleur et, surtout toxicité – sont susceptibles de se modifier de façon imprévisible. Par exemple, une substance qui est rouge quand elle mesure un mètre de large peut être verte quand elle ne fait plus que quelques nanomètres ; sous forme de graphite, le carbone est souple et malléable, mais s'avère plus solide que l'acier à l'échelle nanométrique. Un seul gramme de matériau catalyseur composé de particules de dix nanomètres est environ cent fois plus réactif qu'un gramme de ce même matériau composé de particules d'un micromètre.

Depuis quelques années, le domaine des nanotechnologies, qui englobe donc les manipulations de la matière à l'échelle des atomes et des molécules, converge à vitesse grand V vers ceux des biotechnologies et des technologies de l'information pour modifier radicalement les fondements de nos systèmes alimentaire et agricole.

Au cours des deux prochaines décennies, l'impact de cette convergence sur l'agriculture et l'alimentation dépassera celui de la mécanisation agricole ou de la Révolution verte, avec pour conséquence une redynamisation des industries meurtrières de l'agrochimie et de l'agrobiotechnologie, et soulevant un débat nouveau et intense sur les aliments « atomiquement modifiés ». Du sol à l'assiette, les nanotechnologies vont non seulement modifier le fonctionnement de chaque étape de la chaîne alimentaire, mais elles vont aussi en affecter tous les acteurs. Et l'agriculture pourrait bien servir de terrain d'essai à des technologies destinées à la surveillance, au contrôle social, voire à la guerre biologique.

Un gros retard d'information

Comme les nanotechnologies concernent l'ensemble de la matière, les nanobrevets peuvent avoir de profonds impacts non seulement pour le secteur de l'alimentation mais pour l'ensemble de l'économie. La fusion des nanotechnologies et des biotechnologies transformera radicalement les besoins industriels en matières premières agricoles, mais on ignore encore ses conséquences sur la santé, la biodiversité et l'environnement. Aucun gouvernement n'a encore développé de réglementation concernant l'échelle nanométrique ou étudié les impacts de l'invisiblement petit sur notre société. Quelques aliments et produits nutritionnels contenant des additifs nanométriques invisibles, non indiqués par l'étiquetage car ne relevant d'aucune réglementation, sont déjà disponibles dans le commerce. De même, bon nombre de pesticides élaborés à l'échelle nanométrique sont déjà sur le marché et ont été répandus dans l'environnement.

Aux États-Unis, le débat sur les aliments transgéniques (génétiquement modifiés) a non seulement omis d'aborder les questions de santé et d'environnement, mais il a désastreusement ignoré les enjeux politiques de la propriété intellectuelle et du contrôle sous-jacent aux situations monopolistiques. Questions cruciales : quelles vont en être les conséquences sur la société ? Et qui va en bénéficier ?

La communication gouvernementale affiche huit à dix ans de retard sur le besoin d'information de la société, le débat public et les politiques menées.



I - MAIN BASSE SUR L'AGRICULTURE

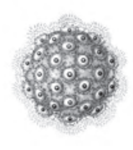
Uniformisée, automatisée, l'agriculture version nanométrique promet des lendemains qui chantent à l'industrie agroalimentaire. On commence à libérer dans la nature des plantes atomiquement modifiées, des nanopesticides, nanofibres et autres nanocapsules sans en connaître l'impact sur les sols et les organismes vivants, animaux ou humains.

L'utilisation de nanoparticules dans l'agriculture soulève des inquiétudes environnementales et sanitaires puisque ces dernières semblent afficher une toxicité différente de celle des versions plus grosses du même composé. En 2003, le Dr Vyvyan Howard, éditeur fondateur du *Journal of Nanotoxicology*, entreprit d'étudier la littérature scientifique sur la toxicité des nanoparticules pour *ETC Group* et conclut qu'elle semblait plus élevée, leur taille occasionnant une pénétration plus importante des membranes protectrices de l'organisme, qu'il s'agisse de la peau, de la barrière hémato-encéphalique ou du placenta.

Une étude publiée en juillet 2004 par le Dr Eva Oberdörster a révélé que l'exposition de perches (poissons) à de petites quantités de buckyballs (nanoparticules de 60 atomes de carbone) avait rapidement entraîné des lésions cérébrales et le décès de la moitié des puces d'eau vivant dans le même milieu que les poissons. D'autres études montrent que les nanoparticules peuvent pénétrer dans le sol de façon inattendue, drainant peut-être d'autres substances dans leur sillage. Face aux lacunes sur le sujet, de nombreux spécialistes recommandent de réduire ou d'interdire leur dissémination dans l'environnement.

Une agriculture asservie à l'industrie

En décembre 2002, le ministère de l'Agriculture américain a rédigé le premier « état des lieux » mondial de l'application des nanotechnologies à l'agriculture et à l'alimentation. Un large



éventail de décideurs politiques, de représentants d'universités agronomiques, de chercheurs du privé, se sont réunis à l'université de Cornell (New York) pour partager leur vision du remaniement de l'agriculture provoqué par l'émergence des nanotechnologies.

Il ressort de ces débats que l'agriculture version nanométrique doit être plus uniforme, davantage automatisée, industrialisée et réduite à ses plus simples fonctions. La ferme serait alors un centre de bioproduction étendu pouvant être contrôlé et dirigé depuis un ordinateur portable et les aliments seraient fabriqués à partir de substances sur mesure assurant une distribution efficace de nutriments à l'organisme.

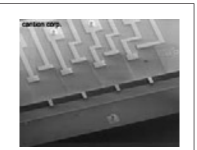
Grâce aux nanobiotechnologies, l'agriculture pourra récolter davantage de matières premières à des fins industrielles. Dans un même temps, les produits agricoles tropicaux tels que le caoutchouc, le cacao, le café et le coton – ainsi que les petits exploitants qui les cultivent – deviendront désuets et inutiles dans cette nouvelle nanoéconomie de « la matière flexible » où les propriétés des nanoparticules industrielles pourront être ajustées pour créer des substituts moins chers et « plus intelligents ».

Tout comme l'agriculture transgénique a engendré une nouvelle concentration d'entreprises tout au long de la chaîne alimentaire, la nanotechnologie brevetée, déployée depuis les graines jusqu'à l'estomac, depuis le génome jusqu'au gosier, renforcera l'emprise de l'industrie agroalimentaire sur l'agriculture et l'alimentation mondiales – tout cela, ostensiblement, dans le but affiché de traiter la malnutrition, de sauvegarder l'environnement et d'offrir un choix plus large aux consommateurs.

Des plantes atomiquement modifiées

Depuis deux générations, les chercheurs manipulent l'alimentation et l'agriculture à l'échelle moléculaire. L'agronanotechnologie franchit un pas de plus en maillant l'ensemble de la chaîne alimentaire industrielle. Avec les nouvelles nanotechnies de mélange et d'exploitation des gènes, les plantes génétiquement modifiées deviennent des plantes atomiquement modifiées. On peut conditionner des pesticides avec une plus grande précision pour neutraliser les nuisibles indésirables et trafiquer les arômes artificiels ou nutriments pour satisfaire le palais. Le projet d'une agriculture industrielle automatisée à commande centrale utilisant des capteurs moléculaires, des systèmes de distribution moléculaires pour un coût de main-d'œuvre réduit est désormais réalisable. Les processus naturels ont

Des bactéries vivantes dans des nanomachines



Les bactéries vivantes pourraient un jour être utilisées comme composants transformables de circuits électroniques à l'échelle nanométrique, ou même comme échafaudages pour construire des nanomachines. « La nature a créé ces incroyables matériaux de construction, explique Robert Hamers de l'université de Winsconsin-Madison. Notre méthode consiste simplement à les saisir très délicatement. »

En effet, son équipe utilise des électrodes pour manipuler les cellules bactériennes individuelles. Pour l'instant, les nanostructures doivent être assemblées manuellement. Mais il devrait être possible d'automatiser le processus utilisant des bactéries quand des composants marqués avec des molécules biologiques particulières s'accoleront à des protéines complémentaires sur la surface des bactéries.

Les électrodes de type Hamers pourraient également s'appliquer aux biodétecteurs potentiellement capables de déceler des agents biologiques tel qu'un anthrax à partir des modifications du courant d'une électrode au moment où des spores commencent à y adhérer.

(Source : *New Scientist*, 2 avril 2005)

déjà été largement réorganisés. Afin d'augmenter le rendement des cultures durant la Révolution verte, les scientifiques de l'hémisphère nord ont cultivé des plantes semi-naines capables de mieux absorber les engrais synthétiques et, ce faisant, augmentant les besoins en pesticides.

Les herbicides, eux, sont préservés

Pour renforcer cette dépendance, l'industrie de la biotechnologie agricole a conçu des plantes capables de tolérer des produits chimiques toxiques. Les sociétés de l'agrobiotechnologie avaient le choix : mettre au point de nouveaux produits chimiques pour répondre aux besoins des plantes ou manipuler les plantes pour répondre aux besoins des herbicides industriels. Elles ont choisi de préserver leurs herbicides.

Aujourd'hui, l'industrie des nanotechnologies suit le même chemin, recherchant comment asservir la vie et la matière aux besoins de l'industrie. Des chercheurs sont en train d'élaborer de nouvelles techniques faisant appel aux nanoparticules pour introduire subrepticement de l'ADN étranger dans des cellules. Par exemple, à l'*Oak Ridge National Laboratory*, laboratoire du ministère américain de l'Énergie qui a joué un rôle majeur dans la production d'uranium enrichi pour le *Manhattan Project* (mise au point de la bombe atomique), des chercheurs ont élaboré une nanotechnique permettant l'injection d'ADN dans des millions de cellules à la fois. On synthétise des millions de nanofibres de carbone auxquelles sont fixés des brins d'ADN synthétique sur une puce de silicium. Les cellules vivantes sont alors projetées contre les fibres et, transpercées par ces dernières, reçoivent une injection d'ADN. « C'est comme lancer une poignée de balles de baseball contre une planche à clous… Nous jetons littéralement les cellules sur les fibres, puis nous enfonçons les cellules dans la puce afin de faire pénétrer un peu plus les fibres dans la cellule », explique Timothy McKnight, ingénieur à l'*Oak Ridge Laboratory*.

Une fois injecté, l'ADN synthétique produit des protéines aux caractéristiques nouvelles. *Oak Ridge* a amorcé une collaboration avec l'*Institute of Paper Science and Technology* dans le cadre d'un projet visant à utiliser cette technique pour la manipulation génétique du pin blanc, première source de pâte à bois pour l'industrie du papier aux États-Unis.

Contrairement aux méthodes de manipulation génétique existantes, cette technique élaborée par les scientifiques d'*Oak Ridge* ne transmet pas, en théorie, les traits modifiés aux générations suivantes car l'ADN reste attaché à la nanofibre de carbone et s'avère incapable de s'intégrer au propre génome des plantes. Par conséquent, il n'est possible de reprogrammer qu'une seule génération de cellules, ce qui, selon ces mêmes chercheurs, devrait apaiser les inquiétudes relatives aux plantes génétiquement modifiées pour lesquelles les gènes sont transférés entre organismes n'ayant aucun lien de parenté ou bien sont prélevés et réarrangés au sein d'une espèce.

Des « Terminator » en puissance

Si cette nouvelle technique permet aux chercheurs d'activer ou de désactiver à leur guise un trait essentiel telle que la fertilité, les sociétés de semences vont-elles utiliser ces minuscules terminateurs pour empêcher les agriculteurs de récupérer et de réutiliser les graines récoltées, les obligeant alors à revenir chaque année sur le marché des semences commerciales pour se procurer le trait génétique activé dont ils ont besoin ?

Cette approche soulève aussi un certain nombre de questions de sécurité : que se passera-il si ces nanofibres sont ingérées par la faune ou par l'homme dans l'alimentation ? Quels seraient les impacts écologiques si les nanofibres entraient dans les cellules d'autres organismes et leur faisaient exprimer de nouvelles protéines ? Où vont aller les nanofibres quand la plante se décomposera dans le sol ? On a comparé les nanofibres de carbone aux fibres d'amiante parce qu'elles ont une forme similaire. Les études toxicologiques initiales de certaines nanofibres de carbone ont démontré une inflammation des cellules.

Une étude menée par la NASA a révélé une inflammation des poumons plus sévère que dans les cas de silicose, même si le lauréat du prix Nobel Richard Smalley, président de *Carbon Nanotechnologies Inc*. accorde peu de poids à ces préoccupations : « Nous sommes sûrs qu'elle ne révèlera aucun risque pour la santé mais pour l'instant, l'étude [toxicologique] se poursuit. »

Un riz thai nano-idéal



En mars 2004, l'*ETC Group* a produit un rapport sur une initiative de recherche thaïlandaise visant à modifier atomiquement les caractéristiques de variétés de riz locales. Dans le cadre d'un projet de trois ans mené par le laboratoire de physique nucléaire de l'université de Chiang Mai, des chercheurs ont « percé » la membrane d'une cellule de riz afin d'y insérer un atome d'azote destiné à stimuler le réarrangement de l'ADN du riz. Pour l'instant, ils ont ainsi réussi à modifier la couleur d'une variété locale qui du pourpre est passée au vert. Dans une interview téléphonique, le Dr Thirapat Vilaithong, directeur du centre de recherche sur les neutrons rapides de Chiang Mai, a déclaré à *Biodiversity Action Thailand* (BIOTHAI) que leur prochaine cible était le célèbre riz thaïlandais Jasmin dont ils entendent développer des variétés cultivables tout au long de l'année, avec des pédoncules plus courts et une plus belle couleur de grain. Selon le Dr Vilaithong, un des attraits de cette nanotechnologie, à l'instar du programme de recherche d'*Oak Ridge*, est d'éviter de faire appel au principe controversé de la modification génétique. « Nous évitons au moins ça », a-t-il déclaré. Mais en Thaïlande, l'opinion publique reste sceptique quant à cet « avantage ».



Les études toxicologiques de certaines nanofibres de carbone ont démontré une inflammation des cellules.



Des microcapsules dans le miel

Des pesticides contenant des nano-ingrédients actifs sont déjà sur le marché, et de nombreuses sociétés agrochimiques mondiales de premier plan étudient leur développement.

Une approche plus sophistiquée de leur formulation réside dans l'encapsulation, technique consistant à enfermer le nano-ingrédient actif dans une sorte de minuscule « enveloppe » ou « coquille ». On trouve déjà depuis plusieurs décennies sur le marché des ingrédients alimentaires et des produits agrochimiques microencapsulés. Selon l'industrie, la reformulation de pesticides en microcapsules a entraîné « des changements révolutionnaires », y compris la possibilité de contrôler les conditions de libération de l'ingrédient actif. Selon l'industrie agrochimique, reformuler des pesticides en microcapsules peut également étendre la protection conférée par un brevet, augmenter la solubilité, réduire le contact ingrédients actifs/ouvriers agricoles et présenter des avantages environnementaux tels que la réduction des coefficients de drainage.

Pour autant, la microencapsulation soulève certaines inquiétudes :

Les microcapsules sont de la taille du pollen et risquent d'empoisonner les abeilles et/ou d'être rapportées aux ruches et incorporées au miel.

• Tant l'activité biologique que la durée d'exposition de l'environnement et des travailleurs sont augmentés ; les insectes bénéfiques et la vie du sol risquent d'être affectés.

• Les nanopesticides pourraient-ils être absorbés par les plantes et se retrouver dans la chaîne alimentaire ?

• Ces pesticides peuvent être plus facilement pulvérisés sous forme de poudre ou gouttelettes – entraînant ainsi un risque d'inhalation et constituant peut-être une plus grande menace pour la sécurité et la santé de l'homme.

• Les pesticides se présentant sous forme de nanocapsules ou de nanogouttelettes pourraient-ils afficher une toxicité différente, pénétrer dans le corps et affecter la faune via de nouvelles voies d'exposition, par exemple la peau ?

• Ils risquent d'être détournés comme vecteurs d'armes biologiques.

• Quels autres déclencheurs externes pourraient affecter la libération de l'ingrédient actif (par exemple, liaison chimique, chaleur ou décomposition de la capsule) ?

• Les microcapsules sont de la taille du pollen et risquent d'empoisonner les abeilles et/ou d'être rapportées aux ruches et incorporées au miel. En raison de leur taille, « les insecticides microencapsulés sont considérés comme plus toxiques pour les abeilles domestiques que n'importe quelle autre formulation existante. » L'effet des nanocapsules est-il ainsi plus létale ?

• On ignore comment les nanocapsules « non explosées 0 » se comporteront dans l'intestin humain si elles sont ingérées avec des aliments.

Cultivateurs de particules

À l'avenir, les nanoparticules industrielles ne seront peut-être pas produites dans un laboratoire, mais pousseront dans des champs de cultures génétiquement modifiées, phénomène que l'on pourrait appeler « culture des particules ». On sait depuis quelque temps que les plantes peuvent utiliser leurs racines pour extraire des nutriments et des minéraux du sol mais des recherches de l'université du Texas-El Paso confirment que les plantes peuvent également absorber des nanoparticules susceptibles d'être industriellement récoltées. Lors d'une culture expérimentale de particules, on a fait pousser de la luzerne sur un sol artificiellement enrichi en or dans l'enceinte de l'université. Lorsque les chercheurs ont examiné les plantes, ils ont découvert des nanoparticules d'or dans les racines et tout le long de la pousse des plantes présentant les mêmes propriétés physiques que celles produites à l'aide de techniques chimiques conventionnelles, qui sont coûteuses et néfastes pour l'environnement. Il suffit d'extraire les métaux en dissolvant le matériau organique.

Des expériences initiales ont montré que les particules d'or prenaient des formes aléatoires, mais la modification de l'acidité du support de culture semble engendrer des formes plus homogènes. Les chercheurs travaillent actuellement avec du blé et de l'avoine en plus de la luzerne pour produire des nanoparticules d'argent, d'europium, de palladium, de platine et de fer. Pour la production à l'échelle industrielle, les chercheurs supposent que les plantes à particules peuvent être cultivées à l'intérieur sur des sols enrichis en or ou dans des mines aurifères désaffectées.

Des risques de dérives eugéniques

Implanter des dispositifs de localisation dans les animaux n'est pas nouveau (qu'il s'agisse des nuisibles, des précieux animaux d'élevage ou de la conservation de la faune). On utilise déjà de diverses façons des puces injectables afin d'améliorer le bien-être et la sécurité des animaux (pour étudier leur comportement dans la nature, assurer la traçabilité de la viande).

À l'ère de la nanotechnologie cependant, équiper les animaux de la ferme de capteurs, de puces médicinales et de nanocapsules réduira encore un peu plus les bêtes à de simples unités de production industrielle. Les animaux pourraient également servir de cobayes à des applications moins réjouissantes ou plus risquées, susceptibles d'être étendues à l'homme. Utiliser la microfluidique pour l'élevage risque d'accélérer l'uniformité génétique au sein des espèces de bétail et offre aussi la perspective d'appliquer de nouvelles technologies nano-eugéniques à l'homme.

La capacité de réguler les animaux à distance pourrait également avoir des effets néfastes puisque le bétail passera de plus longues périodes sans être soigné directement par l'homme.

Ces mêmes technologies transférées à l'homme soulèvent de profondes inquiétudes quant à la qualité de vie et aux libertés civiles. En octobre 2004, la Food and Drug Administration (des États-Unis) a autorisé l'usage de micropuces implantables chez l'homme afin d'offrir un accès facile aux antécédents médicaux d'une personne (première autorisation de micropuces à des fins médicales aux États-Unis).

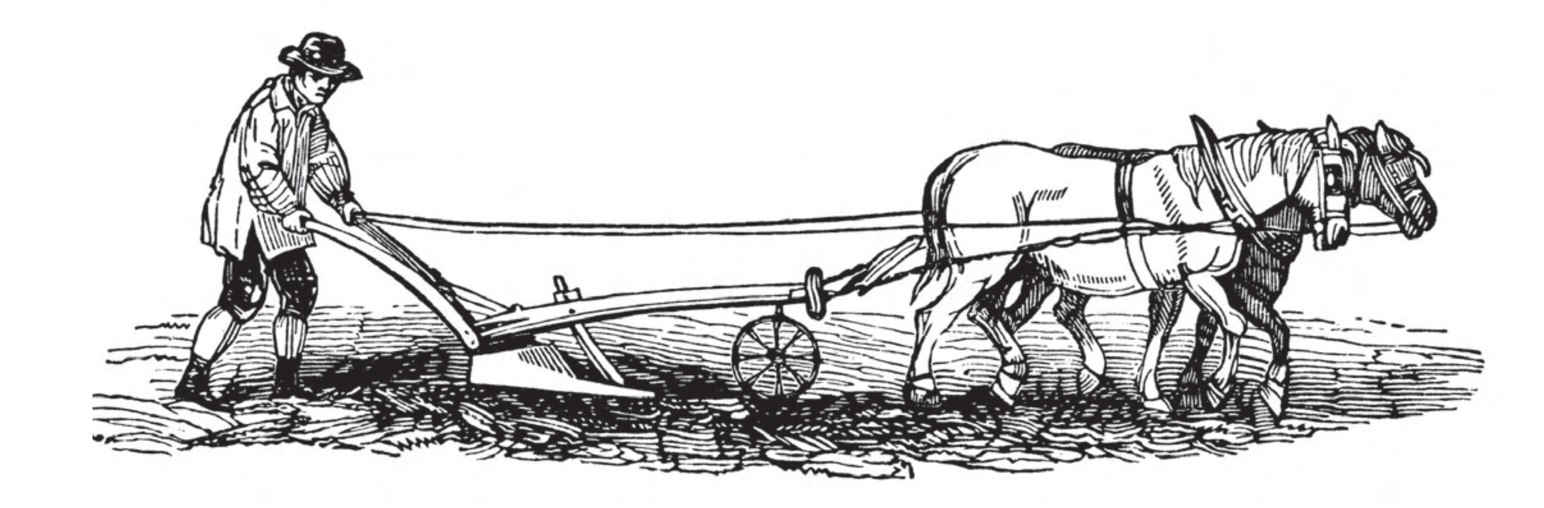
La technologie des capteurs pourrait profiter à des exploitations agricoles à grande échelle hautement industrialisées qui sont déjà en train d'adopter des tracteurs équipés du système GPS et autres techniques d'agriculture de précision.

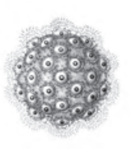
En définitive, les capteurs sont susceptibles d'augmenter la productivité, de faire baisser les prix à la ferme, de réduire la main d'œuvre et de conférer un petit avantage sur le marché mondial aux plus gros exploitants de fermes industrielles. Ce ne sont pas les petits exploitants qui vont profiter des réseaux de capteurs omniprésents, mais les gros négociants en grains qui sont en mesure de rassembler des données de plusieurs milliers d'exploitations afin de déterminer quelles sont les espèces cultivées, par qui et quel en sera le prix, en fonction de la demande du marché et des prix mondiaux.

Pourquoi employer des exploitants intelligents quand des capteurs et des ordinateurs peuvent gérer des « exploitations intelligentes » à leur place ?

La distance se substitue à l'intime

Les capteurs vont marginaliser les atouts les plus précieux des exploitants : leur connaissance intime du lieu, du climat, des sols, des graines, des récoltes et de la culture. Dans un monde contrôlé par la technologie sans fil, tout cela est réduit à des données brutes en temps réel, interprétées puis exploitées à distance. Pourquoi employer des exploitants intelligents quand des capteurs et des ordinateurs peuvent gérer des « exploitations intelligentes » à leur place ? Certains pourraient également insister pour que les réseaux de capteurs agricoles soient utilisés comme systèmes de surveillance civile motivés par la « sûreté nationale ».







II - UN MONDE SOUS NANOSURVEILLANCE

Déclenchables à distance et capables de pénétrer dans l'organisme sans alerter le système immunitaire, les nanocapsules pourraient constituer des armes de guerre biologique redoutables. Tandis que des nanocapteurs informeraient en temps réel des mouvements de troupe comme de ceux des populations civiles.

Les réseaux de capteurs sans fil – que ce soit dans l'agriculture ou toute autre application – menacent d'étouffer la dissidence et d'envahir la vie privée. Michael Mehta, sociologue à l'université du Saskatchewan (Canada), pense que l'environnement équipé de capteurs multiples pourrait détruire toute notion de vie privée, créant un phénomène de « nano-panopticisme » (c'est-à-dire, tout voir) dans lequel les citoyens se sentent constamment surveillés. Dans un récent rapport intitulé « Nanoscience et nanotechnologies : opportunités et incertitudes » , la Royal Society britannique a également mis en lumière les problèmes de confidentialité posés par les nanocapteurs : « …Ces systèmes [de capteurs] pourraient être utilisés d'une façon portant atteinte à l'intimité individuelle ou collective par une surveillance secrète, en collectant et distribuant des informations personnelles (tels que le profil sanitaire ou génétique) sans le consentement des personnes, et en remettant toutes ces informations entre les mains de ceux qui possèdent les ressources nécessaires pour développer et contrôler de tels réseaux. »

Armes biologiques en vue

Parce qu'elles peuvent transporter des substances destinées à nuire à l'homme aussi bien qu'à des insectes parasites ou des mauvaises herbes, les nanocapsules et les microcapsules constituent un vecteur idéal d'armes chimiques et biologiques. En raison de leur petite taille, les nanocapsules d'ADN peuvent pénétrer dans le corps sans alerter le système immunitaire, puis être activées par les mécanismes mêmes des cellules et produire alors des composés toxiques. La plus grande biodisponibilité et la meilleure stabilité des substances nanoencapsulées dans l'environnement peuvent présenter des avantages aux yeux des géants de la génétique, mais ces mêmes caractéristiques peuvent en faire des armes de guerre biologique redoutablement puissantes. En outre, en raison de leur meilleure biodisponibilité, une petite quantité du produit chimique suffit. Quand elle est programmée pour répondre à des déclencheurs externes comme les ultrasons ou les fréquences magnétiques, l'activation peut être contrôlée à distance, laissant la porte ouverte à de sinistres scénarios. Les sociétés d'agrochimie ou de semences pourraient-elles activer des déclencheurs à distance pour entraîner une mauvaise récolte si l'agriculteur contrefait le brevet de la société ou ne suit pas les méthodes de production prescrites ?

Que se passera-t-il si des nanocapsules contenant un puissant composé sont déversées dans des réserves d'eau régionales par un groupe terroriste ou un agresseur étranger ?

Selon le *Sunshine Project*, le « Groupe de l'Australie » (un groupe de 24 pays industrialisés) a récemment proposé d'ajouter les technologies de microencapsulation à une liste commune de technologies interdites d'exportation vers des pays « indignes de confiance » de peur qu'ils ne s'en servent comme armes biologiques. Les documents obtenus par le *Sunshine Project* montrent également que l'armée américaine a alloué un financement à l'université du New Hampshire en 1999-2000 pour qu'elle développe des microcapsules contenant des produits chimiques corrosifs et anesthésiants (destinés à faire perdre conscience).

Ces documents décrivent comment ces microcapsules peuvent être tirées sur une foule, corroder l'équipement de protection puis s'ouvrir au contact de l'humidité sur la peau de l'homme.

Des champs de blés au champs de bataille

« L'agriculture de précision », également appelée exploitation localisée, désigne une poignée de nouvelles technologies de l'information appliquées à la gestion commerciale à grande échelle. Les technologies de l'agriculture de précision incluent, par exemple, les ordinateurs personnels, les systèmes de positionnement par satellite, les systèmes d'informations géographiques, le guidage automatisé des machines, les systèmes de télédétection et les télécommunications.

L'idée que des milliers de minuscules capteurs puissent être disséminés comme autant d'yeux, d'oreilles et de nez invisibles à travers les champs agricoles et les champs de bataille semble relever de la science-fiction. Mais il y a dix ans, Kris Pister, professeur de robotique à l'université de Californie à Berkeley, obtint un financement de la part de la *Defense Advanced Research Project Agency* (DARPA) des États-Unis pour développer des capteurs autonomes pas plus gros qu'une tête d'allumette. Faisant appel à la technologie de gravure sur silicium, ces capteurs (grains de poussière intelligents) seraient équipés d'une source d'alimentation embarquée, dotés de fonctions de calcul et de détection d'autres capteurs environnants et de communication avec eux. Ainsi, chaque capteur s'auto-organiserait dans des réseaux informatiques ad hoc capables de relayer des données à l'aide de la technologie sans fil (c'est-à-dire, la radio). L'intérêt immédiat de la Darpa dans ce projet était de déployer des réseaux de grains de poussière intelligents en terrain ennemi pour recueillir des informations en temps réel sur les mouvements de troupe, les armes chimiques et autres conditions sur les lieux d'affrontements sans avoir à risquer la vie des soldats. Toutefois, comme cet autre projet révolutionnaire de la Darpa qu'est Internet, il est rapidement apparu que ces minuscules systèmes de surveillance auraient d'innombrables usages civils, depuis le contrôle des dépenses d'énergie dans des immeubles de bureaux jusqu'au suivi de marchandises tout au long d'une chaîne d'approvisionnement, en passant par la surveillance des données environnementales.

Détecteurs d'anthrax

Avec les avancées techniques constantes, les microcapteurs rapetissent tandis que leurs possibilités augmentent. Les analystes de marchés prédisent que le marché des capteurs sans fil pèsera 7 milliards de dollars d'ici 2010.

Les nanocapteurs faits de nanotubes de carbone ou de nanoporte-à-faux (dispositifs de pesage équilibrés) sont assez petits pour capturer et mesurer des protéines voire des molécules. Les nanoparticules ou nanosurfaces peuvent être programmées de façon à déclencher un signal électrique ou chimique en présence d'un contaminant tel que des bactéries. D'autres nanocapteurs agissent en déclenchant une réaction enzymatique ou en utilisant des nanomolécules ramifiées appelées dendrimères comme sondes pour se fixer aux produits chimiques et protéines cibles.

Comme on pouvait s'y attendre, une bonne partie des recherches sur les nanocapteurs financées par le gouvernement américain vise à détecter de minuscules quantités d'agents de guerre biologique tels que l'anthrax ou des toxines chimiques afin de contrer les attaques terroristes sur le sol américain et de prévenir les soldats des risques éventuels dans les zones d'affrontements. Par exemple, le projet « SensorNet » tente de déployer dans tous les États-Unis un réseau de capteurs qui fera office de système d'alerte rapide en cas de menaces chimiques, biologiques, radiologiques, nucléaires et explosives. Le SensorNet intègrera des nanocapteurs, des microcapteurs et des capteurs conventionnels dans un seul et unique réseau national couplé rétroactivement à un réseau américain existant de 30 000 mâts de téléphones portables, formant l'ossature d'un réseau de surveillance national sans précédent. L'Oak Ridge National Laboratory expérimente actuellement SensorNet sur le terrain. Les laboratoires de la défense du gouvernement américain tels que Los Alamos et Sandia élaborent eux-mêmes ces nanocapteurs.

Que se passera-t-il si des nanocapsules contenant un puissant composé sont déversées dans des réserves d'eau par un groupe terroriste ou un agresseur étranger ?

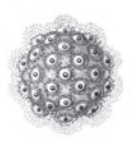


Nano-composant privilégié, l'ADN

Un consortium international réunissant sept universités et centres de recherche recherchent une alternative à la microélectronique à base de silice par l'emploi des molécules d'ADN, qui pourraient rendre possible une réduction par mille de la taille des système actuellement manufacturés. L'université de Bilbao (UPV/EHU), au Pays basque, participe à ce programme avec le groupe de recherche du professeur Angel Rubio Secades, du département Physique de la matière.

La nature véritablement innovante du programme réside d'une part en l'utilisation du potentiel de reconnaissance et d'auto-assemblement des sytèmes biologiques, et plus spécifiquement par l'emploi de dérivés comme l'ADN-G4, l'ADN-M ou l'ADN-PC qui manifestent un potentiel électronique plus grand que l'ADN lui-même (qui est un isolant). D'autre part, l'innovation consiste à combiner études chimiques de surface avec techniques microscopiques de scannage et de spectroscopie, mesures de conductibilité électrique, études sophistiquées théoriques et plus des simulations informatiques portant sur la stabilité et les propriétés des matériaux synthétisés et/ou motivant l'emploi de nouvelles structures au potentiel plus important. C'est ainsi que se développe la méthode de conception de ces nano-câbles en utilisant les dérivés moléculaires. On parvient également de cette façon à maîtriser l'interaction entre électrode et substrat moléculaires, recherchant une compréhension profonde des processus de conduction de ces nano-câbles afin de reproduire des modèles d'équipements nanomoléculaires basés sur ces dérivés de l'ADN.

(Source : http://www.eurekalert.org)



III - DE L'INTELLIGENCE DANS L'AIR



Les chercheurs parlent de créer un « environnement intelligent » dans lequel des capteurs percevront nos besoins et déclencheront la réponse adéquate, arayant la grippe, dépistant le cancer, prévenant la mort subite du nourrisson... La « poussière intelligente » se dépose, en douceur, sur nos peurs.

Aujourd'hui, les microcapteurs et nanocapteurs sans fil tels que ceux conçus par Kris Pister (voir article page 17) font l'objet d'intenses recherches au sein des grandes entreprises comme Intel ou Hitachi et sont au cœur du développement dans tous les laboratoires américains de défense nationale et dans des domaines aussi variés que la médecine, l'énergie et les communications.

Annoncés par *The Economist*, *Red Herring* et *Technolog Review* comme étant la « prochaine grosse révol capteurs sans fil omniprésents, intégrés aussi bi dans nos vêtements que dans les paysages qu nous traver-sons, pourraient fonda mentalement altérer notre relatio aux produits de consommation courante, les service l'environnement et l'État L'objectif est de développer ce que les chercheurs appellent « une intelligence ambiante », des environnements intelligents qui utilisent d capteurs et l'intelligence artificielle pour prédire les besoins des individus et y répondre : des bureaux qui ajustent l'éclairage et le chauffage tout au long de la journée ou des vêtements qui changent de couleur ou de capacité thermique en fonction de l'environnement extérieur.

Une poussière sur chaque ongle

Les grains de poussière de Kris Pister sont actuellement loin de l'échelle nanométrique (ils sont environ de la taille d'une pièce de monnaie), mais la licence d'exploitation de leur brevet a déjà été concédée à des sociétés commerciales.

En 2003, Pister a créé une société de « poussière intelligente », Dust, Inc. Afin de donner un avant-goût de ce que serait une société baignant dans l'intelligence ambiante, Kris Pister émet les hypothèses suivantes : « En 2010, une particule de poussière sur chacun de vos ongles transmettra en continu le mouvement du bout de vos doigts à votre ordinateur. Votre ordinateur saura interpréter vos gestes (saisir, pointer, cliquer, sculpter ou jouer de la guitare virtuelle).

Des nano-nounous

En 2010, les bébés ne mourront plus du SMSN [syndrome de mort subite du nourrisson], ne s'étoufferont plus et ne se noieront plus puisque les parents auront été préalablement alertés du danger.

Comment la société va-t-elle évoluer quand la piscine de vos voisins [sic] appellera sur votre téléphone portable pour vous dire que Johnny est en train de se noyer et que vous êtes l'adulte le plus proche ayant pu être localisé ? En 2020, il n'y aura plus aucune maladie imprévue. Des implants de capteurs chroniques contrôleront tous les principaux systèmes circulatoires du corps humain, et vous préviendront de l'imminence d'une grippe ou vous sauveront la vie en détectant un cancer assez tôt pour qu'il puisse être totalement enlevé par voie chirurgicale. »

Grâce aux puces à ADN, il est possible d'analyser et de manipuler instantanément des échantillons biologiques tels que le sang, les tissus et le sperme. Dans moins de cinq ans, les puces à ADN seront devenues une technologie courante en génomique et découverte de médicaments et elles s'orientent déjà vers des applications

Des implants de capteurs chroniques vous préviendront de l'imminence d'un virus, et les bébés ne s'étoufferont plus, les enfants ne se noieront plus dans les piscines puisque les parents auront été alertés.

IV - NANOGUÉRISONS À L'HORIZON



Médicaments mieux diffusés, analyses génomiques plus poussées..., les nanotechnologies ouvrent à la médecine de nouvelles perspectives en matière de traitement et de diagnostic.

commerciales de soins de santé et de sécurité alimentaire. Une puce à ADN (ou microréseau) est un système habituellement composé de centaines voire de milliers de brins courts d'ADN artificiel déposés avec précision sur un circuit en silicium. Dans les jeux ordonnés d'échantillons, chaque brin d'ADN agit comme une sonde sélective et émet un signal électrique quand il se lie à un matériau dans un échantillon (par exemple, du sang). Un peu comme quand on recherche un mot dans une séquence de texte, la puce à ADN est capable de faire part des séquences génétiques découvertes à partir des sondes à ADN qu'on lui a incorporées. Les puces à ADN les plus célèbres sont celles produites par Affymetrix, la société inventrice de cette technologie qui fut la première à produire une puce à ADN analysant un génome humain entier sur un seul support de la taille d'une pièce de dix centimes.

Outre les puces à ADN, il existe d'autres variantes capables de détecter de minuscules quantités de protéines et produits chimiques dans un échantillon, chose utile pour déceler des maladies ou des agents de guerre biologique.

Des sociétés telles qu'Agilent (Hewlett-Packard) et Motorola commercialisent déjà des machines d'analyse de puces à ADN de la taille d'une imprimante à jet d'encre, chacune étant capable de traiter jusqu'à 50 échantillons en une demi-heure environ.

La moitié des ventes de médicaments en 2010

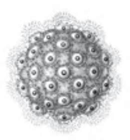
Le domaine de la nanomédecine offre des promesses encore plus époustouflantes de nouveaux diagnostics et traitements ainsi que des perspectives d'amélioration des performances humaines. Selon la Fondation nationale des sciences des États-Unis, la nanotechnologie devrait représenter environ la moitié des ventes de l'industrie pharmaceutique en 2010. Ce que l'on dit moins, c'est que la même chose risque de se produire sur le marché de la santé animale – soit que les nanotechnologies feront leurs preuves en médecine soit que ce marché servira de terrain d'essai à des approches plus controversées de la nanomédecine, telles que l'utilisation de nanocapsules d'ADN. Des sociétés telles que SkyePharma, IDEXX et Probiomed élaborent actuellement des applications vétérinaires de nanoparticules. Les produits nanopharmaceutiques autorisés pour un usage vétérinaire doivent aussi être minutieusement testés et contrôlés afin d'éviter qu'ils n'entrent dans la chaîne alimentaire. On ne sait pas comment les nanoparticules subsistent et se déplacent dans le corps, ni si elles peuvent migrer dans le lait, les œufs et la viande. Les produits pharmaceutiques vétérinaires existants devront être réévalués par les organismes de réglementation s'ils sont reformulés à l'échelle nanométrique puisque les propriétés des matériaux peuvent changer à cette taille.

Une distribution automatisée

Les soins de santé étant de plus en plus motivés par les résultats, l'usage futur de puces implantables pour une administration de médicaments automatisée pourrait devenir économiquement préférable aux soins infirmiers. En ce qui concerne les personnes âgées ou celles présentant des capacités cognitives différentes ou un état nécessitant un traitement régulier, des questions éthiques risquent de surgir pour savoir à qui appartiendra la décision d'équiper une personne d'un « système à injection ». La distribution automatisée de médicaments pourrait permettre à certaines personnes de conserver leur indépendance au lieu d'être placées dans un établissement..La faculté d'imager et d'isoler des molécules biologiques à l'échelle nanométrique ouvre la voie à l'élaboration de médicaments plus ciblés, à un criblage génomique bien plus rapide ainsi qu'à un examen des composés permettant d'évaluer leur aptitude à être utilisés comme médicaments. Les compagnies pharmaceutiques s'intéressent tout particulièrement à l'usage des puces à ADN et systèmes microfluidiques capables de déceler des différences génétiques dans les tissus de façon à pouvoir concevoir des médicaments génétiquement ciblés (pharmacogénomique).

Des diagnostics précoces

Les nanoparticules, qui se déplacent facilement d'un endroit à l'autre du corps, peuvent être utilisées à des fins de diagnostic. Les points quantiques (nanocrystaux de sélénide de cadmium qui prennent différentes couleurs fluorescentes selon leur taille) présentent un intérêt tout particulier. Les points quantiques peuvent être fonctionnalisés



de façon à marquer différents composés biologiques, tels que les protéines ou les brins d'ADN, avec des couleurs spécifiques. Ainsi, il est possible de dépister rapidement dans un échantillon de sang certaines protéines pouvant indiquer une plus forte propension à telle ou telle maladie.

Les médicaments eux-mêmes sont censés rapetisser. Les nanostructures ont l'avantage de pouvoir se glisser dans le système immunitaire et franchir les barrières (par exemple, la barrière hémato-encéphalique ou la paroi stomacale) dont le corps se sert pour se protéger des substances indésirables.

Les composés pharmaceutiques reformulés en nanoparticules atteignent non seulement des parties du corps que les formulations actuelles ne peuvent pas atteindre, mais leur aire spécifique étendue peut également les rendre plus actifs d'un point de vue biologique.

Une meilleure biodisponiblité signifie que des concentrations plus faibles de composés pharmaceutiques coûteux suffiront, avec sans doute moins d'effets secondaires. Les nanoparticules peuvent également être utilisées comme transporteurs permettant d'introduire subrepticement dans le corps des composés qui leur sont attachés.

Les compagnies nanopharmacologiques de premier plan telles que SkyePharma et Powderject (désormais filiale à cent pour cent de Chiron) ont mis au point des méthodes permettant d'administrer des produits pharmaceutiques sous forme de nanoparticules à travers la peau ou par inhalation. En Floride, des chercheurs travaillent sur des systèmes de nano-distribution diffusant des médicaments à travers l'œil à partir de lentilles de contact spécialement imprégnées. Comme avec les pesticides, le grand intérêt réside dans la diffusion contrôlée. Bon nombre des grosses compagnies de pharmacologie humaine et animale travaillant sur des nanomédicaments utilisent les technologies d'encapsulation telles que les nanocapsules pour inoculer subrepticement des composants actifs dans le corps. Les capsules peuvent être fonctionnalisées de façon à se fixer à des endroits spécifiques du corps, ou être activées par un déclencheur externe, tel qu'une impulsion magnétique ou un ultrason. Le ministère américain de l'Agriculture compare ces nanocapsules médicamenteuses fonctionnalisées, appelées "systèmes de distribution intelligents", au système postal, où des "étiquettes d'adresse" à code moléculaire garantissent l'arrivée à bon port du produit pharmaceutique emballé.

Outre les capsules, on utilise d'autres nanomatériaux pour diffuser les médicaments :

• **Le BioSilicon** est un nanomatériau à base de silicium fortement poreux, capable de diffuser lentement un médicament sur un certain laps de temps. Développée par la compagnie australienne pSivida, la technologie BioSilicon sert à confectionner de minuscules capsules (à avaler) ainsi que de minuscules aiguilles pouvant être incorporées dans un timbre pour percer invisiblement la peau et diffuser des médicaments.

• **Les fullerènes**, ou "molécules miracle" de la nanotechnologie (les ballènes et les nanotubes de carbone font partie de cette catégorie de molécules de carbone), sont des cages creuses de soixante atomes de carbone de moins de deux nanomètres de large. Comme elles sont creuses, les compagnies pharmaceutiques envisagent de remplir les fullerènes de composés pharmaceutiques puis de les fonctionnaliser afin qu'elles se fixent à différentes parties du corps.

• **Les dendrimères** sont des molécules ramifiées qui présentent une structure hiérarchique et s'imposent comme l'un des outils les plus populaires de la nanotechnologie. En raison de leur forme et de leur taille nanométrique, les dendrimères offrent trois avantages en matière de diffusion de médicaments : premièrement, ils peuvent contenir les molécules d'un médicament dans leur structure et servir de vecteur ; deuxièmement, ils peuvent entrer facilement dans les cellules et libérer les médicaments sur la cible ; troisièmement, et c'est le plus important, les dendrimères ne déclenchent aucune réaction du système immunitaire.

• **Les nanocapsules d'ADN** font entrer subrepticement des brins d'ADN viral dans les cellules. Une fois la capsule décomposée, l'ADN pirate la machinerie cellulaire pour produire des composés que l'on s'attendrait à rencontrer en cas d'attaque virale, alertant ainsi le système immunitaire et l'incitant à les reconnaître. La technologie des nanocapsules d'ADN pourrait également être utilisée pour pirater les cellules vivantes afin de produire d'autres composés tels que de nouvelles protéines ou toxines. Par conséquent, il faut les surveiller de près en tant qu'éventuelle technologie de guerre biologique.

Enfin, les nanotechnologies pourraient fournir à l'industrie pharmaceutique l'opportunité d'inonder le marché d'un torrent de composés médicamenteux, nouveaux et anciens. Réduire les médicaments existants à l'échelle nanométrique promet non seulement des profits et des brevets, mais offre aussi la perspective de ressusciter des médicaments qui sous leur forme classique n'avaient pas réussi les essais cliniques. En encapsulant des composés pharmacologiquement actifs et en certifiant qu'ils viseront un endroit bien spécifique du corps, les compagnies pourraient prétendre qu'il n'y a plus d'effets secondaires généraux à redouter et que les anciennes évaluations de sécurité ne sont plus d'actualité.

Traduction : Christèle Guinot

La seconde partie, à lire dans NEXUS n° 41, abordera la question des nanotechnologies dans l'alimentation.

Note de l'éditeur

L'ETC Group est un groupe d'action ciblé sur l'érosion, la technologie et la concentration. Les publications, y compris Down on the Farm, sont téléchargeables gratuitement sur le site Internet : www.etcgroup.org www.etcgroup.org
ETC Group, 431 Gilmour St, Second Floor, Ottawa, ON, Canada K2P 0R5.
Tél : +1 613-241-2267 Fax : +1 613-241-2506. E-mail : etc@etcgroup.org